シングル動作で出力40Wを獲得，スイッチングレギュレーター電源採用

STC4212Eシングル モノーラルパワーアンプ

町野利道 MACHINO Toshimichi

STCの大型直熱3極出力管4212Eを，視覚的にも音質的にも楽しむためのモノーラル構成パワーアンプ．初段に5極管C3g，ドライブ段にMOS-FETを採用したユニークな構成で，電源部にはスイッチングレギュレーターを起用している．入力部に新規に設計したトランスを入れて2倍のゲインを稼ぎ，出力部にも新規設計のトランスを起用している．スイッチングレギュレーターの改造は一般的ではないため，本稿ではアンプ部やトランスの設計の部分を参考にしていただきたい．

STC4212E

STC4212EはWEの212をライセンス生産した真空管で，その姿形から，真空管オーディオマニアならば一度は挑戦してみたいと考える夢の真空管です．かつては3MHzぐらいまでの長波～中波帯の送信管や，そのプレート変調用の音声アンプに使われた直熱3極管です．

大型の3極送信管は多々ありますが，プレート電流を稼ぐため，普通はグリッドにプラスバイアスをかけて使うので4極管動作となり，定電流特性で動作します．

4212Eはマイナスバイアスで使用されるので，定電圧特性で動作する純粋な3極管としては最も大きな部類に入る真空管です．

4極管，5極管，そしてFETは，入力電圧に対して出力電流が変化する電圧／電流変換器です．またバイポーラートランジスターは入力電流に対して出力電流が変化する電流／電流変換器です．これらに対して3極管とSITは，入力のグリッド電圧に対して出力のプレート電圧が変化する電圧／電圧変換器です．

一般的なオーディオパワーアンプは定電圧源として作られており，多極管やトランジスターを使ったアンプではオーバオールの電圧負帰還を掛けたり，電流／電圧変換をした後，エミッターフォロワーやソースフォロワー回路で定電圧源としています．したがってパワー段において定電圧源の無帰還アンプは，3極管かSITでしか作れないのです．

クリアサウンドの条件

私の目指す「クリアサウンド」の条件とは，原音に忠実，つまり歪みとノイズがないということです．

歪みには高調波歪み，位相歪み，混変調歪みなどがありますが，これらは単一のサイン波を使って測定する静特性です．混変調歪みとは2つの異なる周波数の信号が非直線素子に入ったとき，2つの信号の和と差の周波数の信号が生成されるものです．

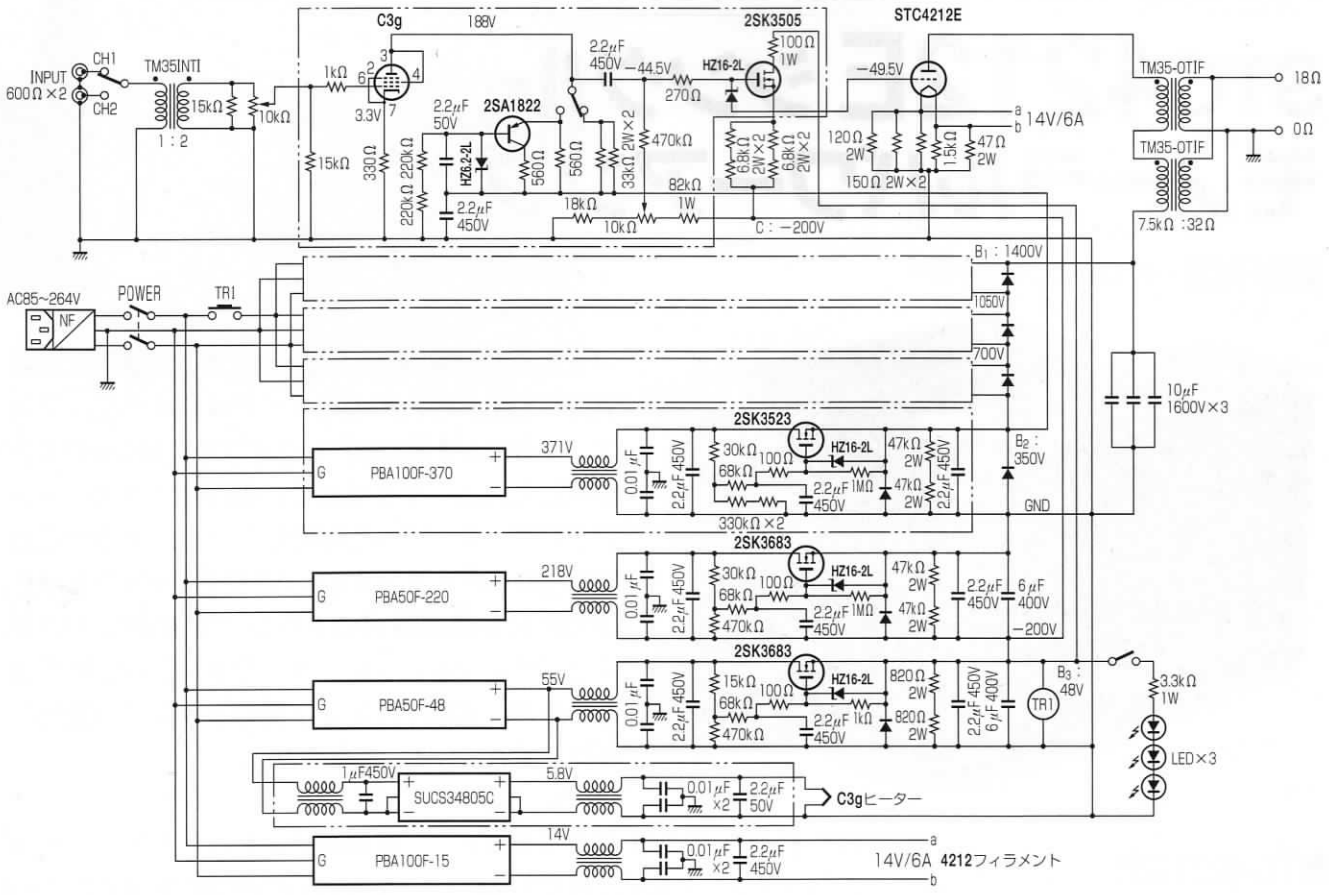
実際の音楽信号は低い周波数から高い周波数の入り交じった信号です．このような実際の信号での特性を動特性といいます．すばらしい静特性のアンプでも，音を出してみるととんでもない音のものがありますが，動特性が良くないと忠実な音の再生はできないのです．

動特性の測定は大がかりな測定装置が必要で，条件設定が困難であり，オーディオアンプだけでなくいろいろな機器においても非常に難しい測定です．

TIM歪み（過度混変調歪み）

動特性の中でも注目すべきがTIM歪みです．

帰還アンプの入力信号と出力から帰還される信号には時間差があります．単一のサイン波で測定する分には，入力も出力もサイン波なので，アンプの出力も単一のサ



[図1] 4212Eシングルパワーアンプの全回路

イン波になり，この時間差による影響が出てきません．しかし現実では，今入力にある信号と出力から帰ってくる信号が違うので，この2つの信号が変調され，元々入力信号になかった信号が生成され，異波形が生じます．これをTIM歪みといいます．真空管アンプはゲインが稼げないので負帰還は少量ですが，大量に負帰還をかけたトランジスターアンプでは，この過度混変調が大きくいたずらし，平面的な音になってしまいます．

ノイズ

ノイズは以下のように，いたるところから入ってきます．

・空中から入ってくる電界，磁界，電磁波などのノイズ
・商用電源ラインに乗ってくるノイズ
・コンセントなどの接触部分から発生する酸化物や接触電位差による整流ノイズ
・入力信号に混じってくるノイズ
・入力や出力ケーブル，真空管ソケットなどのアンプ内部の接触部分で発生する整流ノイズ
・電源回路の整流器から発生する50Hzから数十MHzの帯域にわたるノイズ
・整流回路の変調ノイズ

などがあります．

特に電源関係のノイズはパワーが大きく影響が大きいのです．また外部からの機械的振動や内部のトランスなどから発生する振動も電気的な振動に変換され，回路内に入ってきます．

これらのノイズがひとたびアンプ回路内に入ると混変調が起き，信号にない成分が生成され，ホワイトノイズを聴くように音を濁らせ，立体感のない音になってしまうのです．

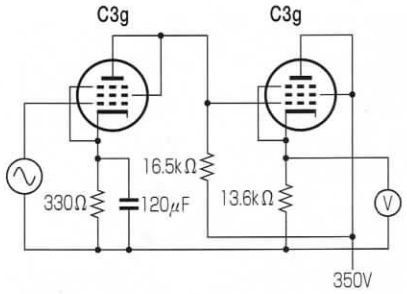
設計コンセプト

今回製作する4212Eのアンプのコンセプトは次のように決めました．

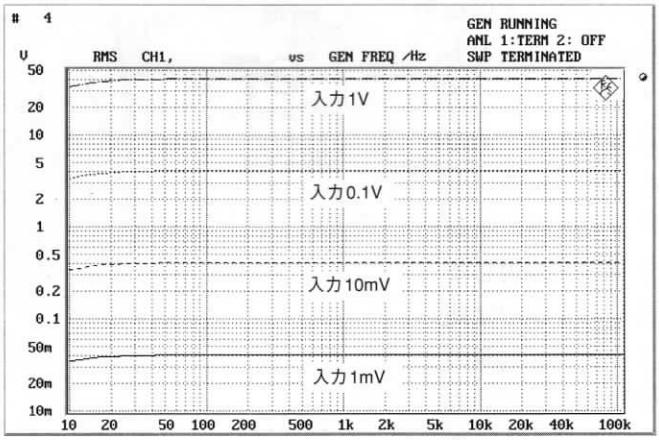
①TIM歪みを避けるため無帰還A級シングルとする
②20Wまで全高調波歪率0.1%以内に収める
③DFを5以上とし，低音再生能力を高める
④ノイズ対策の強化
⑤工芸品として外観にこだわる

基本設計

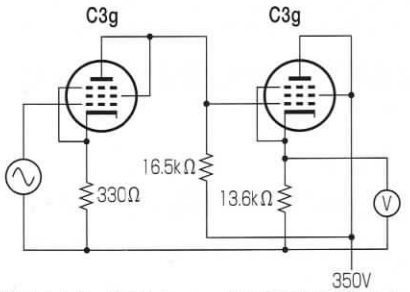
全高調波歪率を下げるために，まさか4212でブリッジアンプとはいかず，2段増幅構成で2次歪みをキャンセルする方法を採用しました．4212は出力管としては歪みの少ない部類なので，初段も



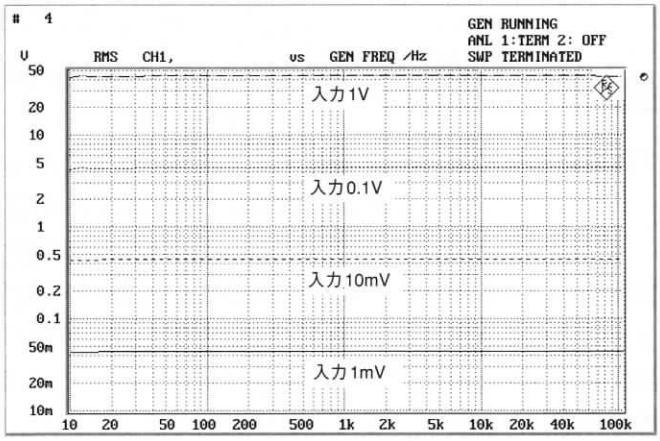
[図3a] 初段カソードにコンデンサーを入れて電流帰還をキャンセルする



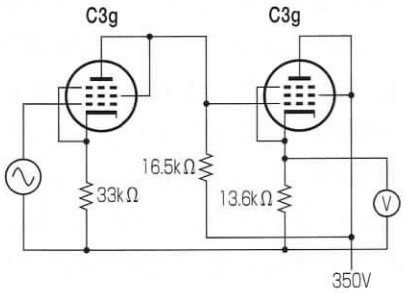
[図4a] 図3aの状態での周波数特性



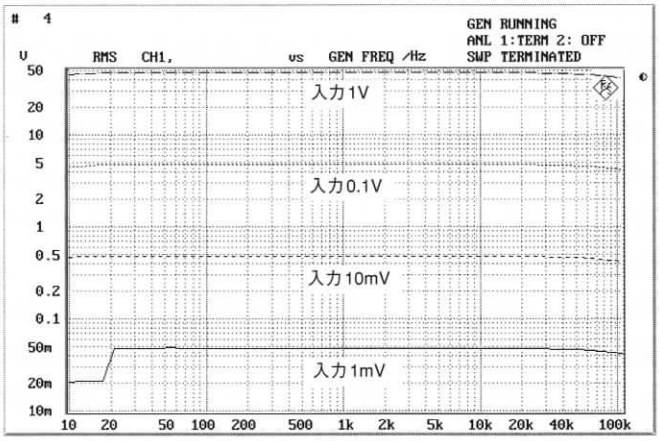
[図3b] 初段カソードに電流帰還をかける



[図4b] 図3bの状態での周波数特性



[図3c] 初段カソードに高抵抗を入れて定電流回路とする



[図4c] 図3cの状態での周波数特性

は，158$V_{p\text{-}p}$＝55.9V_{rms}必要なので，入力感度1V_{rms}ならゲインが56倍，2Vでは28倍必要となるので，入力トランスで調整します．

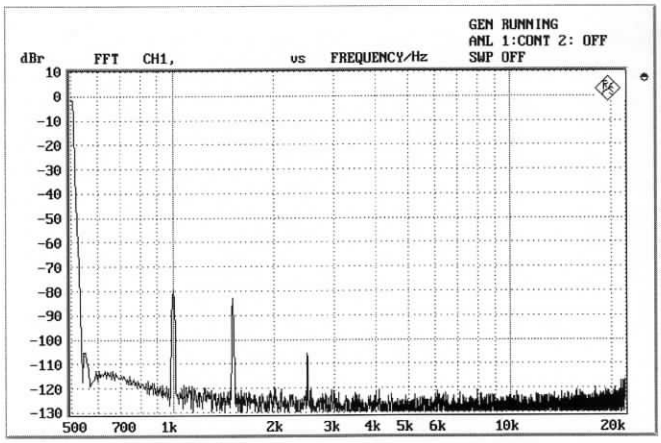
MJ2006年6月号ではカソードにコンデンサーを入れない方法を紹介しました．コンデンサーを入れたものとカソード帰還と定電流負荷の3種類を比較(静特性にて)しました．図3a～cにそれぞれの回路を，図4a～cに各特性を示します．ゲインは図3aが40倍，図3bが21倍，図3cが47倍となり，定電流負荷の効果が出ています．

周波数特性においては図3aはカソードCRのカットオフ周波数以下の低域においてゲインが低下します．

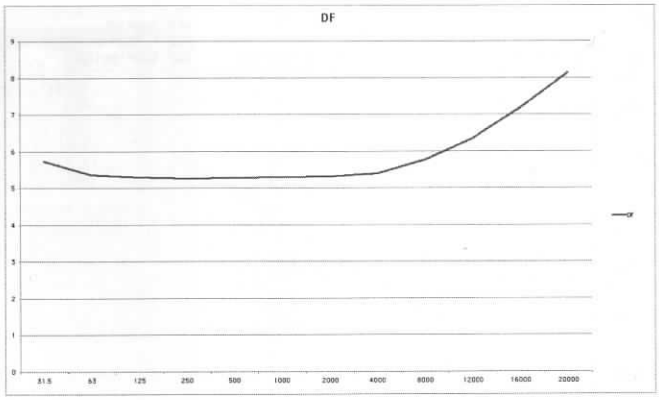
図3cは負荷が高インピーダンスになるので，C3gとトランジスターの浮遊容量が効いてきて高域のゲインが下がります．全高調波歪みは出力20Vのとき，それぞれ0.9%，0.5%，0.11%となり，図3cが良い特性を示します．

図3cではカソードに抵抗は入っていますが，負荷抵抗が高いので電流帰還はかかりません．

これらの効果を試聴で確認できるように，カソード帰還回路と定



[図12] 500Hz入力時の出力FFT解析（出力1W）



[図13] ダンピングファクター（出力1W時，ON-OFF法）

きの出力のFFTを示します．1W，10W共に第2次高調波が少なく出ています．2段構成の歪み抑制が効いていることを表しています．

6）ダンピングファクター（図13）

狙いのDF＝5以上に対して5.3とA級シングルのアンプとしては珍しく高い値になりました．70W取れる出力を40Wにする犠牲を払って得た値です．

試聴

1）定電流回路と抵抗負荷の比較試聴

今回の目的であるC3gの負荷を，スイッチで切り換えて試聴してみました．

定電流回路は平面的で立体感がなく，音になりませんでした．それに比べて電流帰還をかけた抵抗負荷はメリハリがあり立体的で広がりのある音でした．定電流負荷の方が静特性は良いわけですから，動特性が悪いことになります．

インピーダンスが400kΩもあるトランジスターのC-E間の電圧を160$V_{p\text{-}p}$も振るので，浮遊容量の変化が大きく影響し，位相がめちゃくちゃになると同時に歪みとなり，本来信号に含まれていない周波数成分も発生するのではないかと思われます．

これがICとなると素子数が多いところに寄生ダイオードやトランジスターがたくさん入っており，もっと顕著にこの症状が現れます．

ディスクリート構成の半導体アンプの音が良いのは，これが原因だと思っています．

2）試聴会

富山クラフトオーディオクラブの11月の試聴会で鳴らしました．参加者の多くの皆さんから，クリアな音と重低音に絶賛の声が上がりました．

3）シングル方式DF5.3の低音

一般的に無帰還シングルアンプのDFは2程度で，DFを上げるため負帰還を掛けますが，クリアサウンドではTIM歪みを嫌って負帰還は掛けません．DFは出力管のプレート抵抗とトランスの直列抵抗の和とスピーカーのインピーダンスを1次側に換算した値の比です．1次－2次間の巻線比が大きいほどDFを大きく取りやすくなります．これが高電圧の真空管がいい音がすると言われる原因と考えます．

本機は中高域のクリアな音と低音の張り出しに凄さがあり，今までいろいろなところでパイプオルガンの再生音を聴きましたが，いまひとつヨーロッパの教会で聴いた音とは違うという感じを持っていました．しかし今回バッハの「トッカータとフーガ」が，現場にいる感じで初めて鳴りました．

まとめ

クリアサウンドとノイズ

本稿で述べてきたようにいろいろなノイズがアンプの音を悪くしています．オーディオ帯域のノイズだけでなく超低周波，高周波も混変調されオーディオ帯域に入ってきます．位相ノイズも位相進み遅れだけでなく，位相が360度以上回って群遅延となって，基本波が出ているタイミングに出るべきなのに高調波が時間遅れで関係のないところに出てくるなどの悪さをします．

本機ではフェライトリングが効果を発揮しました．フェライトリングに＋と－の線を一緒に巻くとコモンモードノイズ，ノーマルモードノイズが一緒に取れますのでとても良い方法です．

コンセントや整流回路に入れると効き目があると思いますので試してください．巻きすぎると浮遊容量で入出力が結合しますので3ターン以内にし，効き目を上げたいときは断面積の大きいものを使うか2段にすると良いでしょう．